

MICROPROCESADORES Y MICROCOMPUTADORAS

FERNANDO SAEZ VACAS *

1. INTRODUCCION

Los microcomputadores son las máquinas que han hecho de la informática algo cotidiano y no un asunto para especialistas, como hasta hace muy poco tiempo lo eran los computadores. Ahora, millones de estas máquinas se esparcen por el mundo formando parte de las actividades de cualquier sector. También, del ocio y del hogar.

En 1983, alguien calculó que, debido a los microcomputadores, durante 1982 y 1983 se había fabricado el 80% de todos los computadores de la historia. ¿A cuánto habrá ascendido este porcentaje a la altura del año 1987 en el que nos encontramos?

En 1982, la revista TIME designa al computador personal "hombre del año". En esta misma revista de información general encontramos los siguientes datos acerca del número de envíos de ordenadores personales en todo el mundo: 15 millones (1984); 14,7 (1985); 15,2 (1986); 17,4 (estimados en 1987) (Time, nº 19, mayo 1987, p. 32).

¿Qué puede decirse de los microprocesadores?. Este microcircuito no está sólo dentro de cada microcomputador, sino dentro de toda máquina computadorizada, tanto si se trata de una máquina herramienta, un reloj, un instrumento médico, el tablero de control de un automóvil o cualquier otra de las muchas decenas de miles de tipos de máquinas distintas que se han creado nuevas o que han innovado su estructura y organización interna, y por tanto su funcionalidad.

Sobre microcomputadores (a los que asimismo e indistintamente se denotará aquí por microcomputadoras o microordenadores) y sobre microprocesadores se han escrito o dictado innumerables textos, artículos y conferencias, tocando uno u otro de sus variados aspectos técnicos, tecnológicos, económicos y sociales. No se trata de repetir lo ya dicho. Tampoco es razonable profundizar en alguna cuestión específica de vanguardia, más propia de revistas muy especializadas, ni es posible por falta de tiempo plantear un estado de la cuestión de dos áreas tan amplias.

* Catedrático de la E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación de Madrid.

Al mismo tiempo, el título bipolar de la conferencia que se nos ha asignado nos guía en el camino de elegir un enfoque. En efecto, parece lógico intentar centrarse en plasmar con simplicidad una panorámica general que aborde o desarrolle algunos de los parámetros más significativos definitorios de la relación mutua entre microprocesadores y microcomputadores. Evitaremos, por consiguiente, entrar en pormenores sobre cuestiones tecnológicas, de diseño o de arquitectura de cada una de las dos áreas. Pero el hecho de que no nos adentremos en detalles no ha de tomarse como un indicio de superficialidad, puesto que esta conferencia contiene diversas ideas basadas en un estudio de más de dos años de duración que en el momento de escribir estas líneas está a punto de aparecer en forma de un libro de alrededor de 400 páginas (Sáez Vacas, 1987) y del que extraemos selectivamente el texto que el lector tiene en sus manos.

2. ¿QUE ES UN MICROCOMPUTADOR?

En el apartado anterior hemos utilizado las denominaciones de "microcomputadores" y "ordenadores personales". ¿Hay que entender que son la misma cosa?. Intentaremos en este apartado llegar a algunas conclusiones al respecto, dando, tras un repaso rápido por la bibliografía, nuestra propia opinión acerca de lo que razonablemente puede interpretarse hoy día que son estas clases de máquinas. Lo terminaremos con un breve apunte histórico.

2.1. Clasificaciones y definiciones

Según Wakerly, un microcomputador es un "Computador cuya unidad central de proceso es un microprocesador", configurado habitualmente para una aplicación específica y de un precio inferior a los \$20.000. Ejemplos: Apple II, TRS-80, PDP-11/23. (Wakerly, 1981).

Otro libro de gran difusión, realiza las siguientes definiciones (Willis, 1984, pp. 333 y 347):

- Computador personal: microcomputador
- Microcomputador: computador completamente operativo que usa un microprocesador.

Después de rebuscar en un libro-glosario de términos informáticos podemos encontrar, con ayuda de tres entradas distintas, una relación entre los términos "computadora personal" y "microcomputadora". (Véase cuadro 1, Vaquero et al., 1985) (Nota: En la entrada "personal computer" debería haberse escrito: microcomputadora diseñada para ...).

Además de las definiciones anteriores y de los cuadros clasificatorios 2 y 3, otros mu-

<p>PC: <i>computadora personal</i></p> <p><i>Siglas de "Personal Computer"</i></p> <p><i>Microcomputadora monousuario</i></p> <p><i>Véase Personal Computer</i></p> <p>Personal Computer (PC): <i>computadora personal (CP), «PC»</i></p> <p><i>Computadora diseñada para uso exclusivo de un solo usuario. En la actualidad, las computadoras personales pueden poseer características que hace unos años sólo poseían las computadoras grandes.</i></p> <p>Microcomputer: <i>microcomputadora</i></p> <p><i>Computadora cuya unidad central es un microprocesador. Una microcomputadora es un sistema completo que lleva, además del microprocesador, una memoria y controladores de entrada/salida para conectarlo con periféricos exteriores.</i></p>

Cuadro 1. Computadora personal y microcomputadora, según Vaquero y Joyanes, 1985.

chos nos demostrarían que ha habido y todavía persiste cierto confusionismo terminológico. Y es lo cierto que los microcomputadores no forman aún una categoría de computadoras claramente establecida.

Por nuestra parte, en lo que sigue aceptaremos que una microcomputadora es simplemente una computadora cuyo procesador central es un microprocesador.

Aunque muchas veces "computadora personal" y "microcomputadora" pueden identificarse sin problemas como una misma cosa, lo más sensato es considerar a los computadores personales como un subconjunto (de límites muy imprecisos, hay que decirlo) de la clase de microcomputadoras. Para fijar ideas, damos en el cuadro 4 un esquema de características de un computador personal medio, al que podríamos estimar como cota inferior de la categoría de microcomputadores a los efectos de este texto. "Un computador personal es un computador autónomo de sobremesa, basado en un microprocesador (es decir, es un microcomputador), de uso individual, interactivo y de precio inferior al de un automóvil medio" (Sáez Vacas, 1987).

2.2. Apunte histórico

El término de "microinformática" se acuñó antes de la existencia de los microcom-

putadores, en la acepción con que aquí se están considerando. Fue en 1973, en una tesis escrita en Francia por France-Lanord. Al año siguiente aparecía un libro dedicado a la microinformática, coescrito por France-Lanord y Lussato (Lussato, 1974). Los Progresos de

- *Computadores domésticos*
- *Terminales inteligentes*
- *Calculadoras*
- *Consolas de juego*
- *Computadoras portátiles*
- *Computadoras personales*
- *Puestos de trabajo multifuncionales de oficina*
- *Microcomputadores*
- *Pequeños computadores de oficina*

Cuadro 2. Clasificación de pequeños sistemas informáticos, según Metcalfe, (1983).

- *Calculadoras profesionales*
- *Ordenadores de bolsillo*
- " *portátiles*
- " *personales*
- " *personales de oficina*
- " *personales técnicos y científicos*

Cuadro 3. Clasificación de los microordenadores, por la casa Hewlett-Packard (El Ordenador Personal n° 13, marzo 1983, pp. 33—35).

la microelectrónica empezaban a suscitar en las mentes soñadoras un mundo de máquinas computadoras muy pequeñas y pronto al alcance de la sociedad en su conjunto.

Tal vez fue ALTO, diseñado y construido en el Centro de Investigaciones de Xerox en Palo Alto (P.A.R.C., California) el primer microcomputador, aunque no contenía un microprocesador sino un juego de microcircuitos convencionales. El diseño se hizo en 1973 y la construcción del primer prototipo se terminó en poco más de tres meses, estando disponible el primero de abril de ese año (Perry, Wallich, 1985, p. 66).

La escuela Alto motivó otros diseños fuera del P.A.R.C., entre los que cabe citar, por su interés científico, el computador personal Lilith, cuya decisión de construcción y primeras especificaciones (computador basado en el lenguaje Modula-2) datan de 1977 (Wirth, 1982). Posteriormente, la estación Lisa y el ordenador personal Macintosh, de Apple, basa-

ron buena parte de sus características de diseño en los conceptos aportados por Alto y sus sucesores.

- *Microprocesador (es)*
- *Memoria principal de capacidad igual o superior a 128 KBytes*
- *Almacenamiento de masa sobre disco flexible (disquete)*
- *Teclado de máquina de escribir, pantalla e impresora*
- *Sistema operativo interactivo*
- *Lenguaje de alto nivel*
- *Preparado para aceptar extensa gama de programas-producto (que, en una mayoría de ocasiones, son causa y justificación de la compra de un computador personal)*

Cuadro 4. Perfil medio de un computador personal, en 1987 (Sáez Vacas, 1987)

Pero parece que el primer microcomputador comercial personal fue el Altair 8800 que, diseñado en 1974, se anunció en 1975 por la empresa MITS Inc y se vendió también por correo en piezas para montarlo en casa al precio de 395\$ la configuración básica (Gupta, 1984). Esta carrera comercial fue seguida por muchos fabricantes nuevos y antiguos, empezando por la casa Apple en 1977, hasta llegar a la actual ebullición ya comentada en el primer apartado.

Entre otros hitos, cabe señalar el lanzamiento del primer computador personal de IBM en 1981, de AT&T en 1984 y la aparición sucesiva en estos últimos años de potentes microcomputadoras estaciones de trabajo de las casas SUN, APOLLO, D.E.C. y otras.

- *Pantalla de barrido de 875 líneas*
- *Teclado y "ratón"*
- *Disco de 2,5 MB*
- *Interfaz con red Ethernet de 3 Mbit/s.*
- *Procesador microprogramado que controla dispositivos de entrada/salida y soporta emuladores para varios repertorios de instrucciones*
- *Memoria de semiconductores entre 64 K y 256 K palabras de 16 bits*

Cuadro 5. Características del hardware de la computadora personal ALTO (Thacker, 1982).

3. EL MICROPROCESADOR, ELEMENTO ESENCIAL DE LOS MICROCOMPUTADORES

Por la propia definición que hemos aceptado líneas arriba, el microprocesador ha de condicionar muchas de las características operativas y funcionales del microcomputador que lo alberga. Vamos a fijar nuestra atención fundamentalmente en las cualidades estructurales de la máquina.

3.1. Análisis de las dimensiones estructurales más importantes de un microcomputador.

El cuadro 6 presenta las muy conocidas dimensiones del espacio de los ordenadores elaboradas hacia 1971 por Bell y Newell y recientemente algo mejoradas por Siewiorek. Permiten, como se sabe, ubicar cualquier computador entre todos los computadores. Las dimensiones más determinantes son las que ocupan los escalones superiores de este cuadro, estando habitualmente correlacionadas las que ocupan el mismo escalón.

Tecnología de la Lógica	Generación	Complejidad Circuital	Fecha Histor.	Velocidad Pc (Seg)	Coste/Operac. (\$/B/S)
Espacio Direcc.	Virtual	Tamaño Palabra	Base	Tipos de Datos	
Direcciones/ Instrucción	Estado del Procesador				
Estructura PMS	Conmutación		Función del Procesador		
Algoritmo de Acceso	Capacidad Mp	Capacidad Ms	Veloc. Mp (B/S)	Veloc. Ms (B/S)	
Entorno Multiproceso	Comunicación Interprocesos		Jerarquía de Memoria		
Paralelismo	Solapamiento				

Cuadro 6. Dimensiones del espacio estructural de los computadores (Siewiorek et al., 1982).

Un microprocesador es en cierta medida un computador, por lo que gran parte de las dimensiones del cuadro 6 le son aplicables y al mismo tiempo sus valores concretos para estas dimensiones determinan directamente las mismas dimensiones del microcomputador an-

fitrión. Utilizando este razonamiento hasta sus últimas consecuencias podemos particularizar el cuadro anterior a la clase específica de las microcomputadoras. El cuadro 6 se convierte entonces en el cuadro 7, que resalta el papel central del microprocesador.

	<i>Tecnología</i>
	<i>Espacio de direccionamiento</i>
— MICROPROCESADOR	<i>Longitud de palabra</i>
	<i>Estructura</i>
	<i>ISP (instrucciones, tipos de datos y reglas de interpretación).</i>
— Tecnología del resto del sistema: memorias, controladores, ...	
— Estructura PMS del sistema	

Cuadro 7. Rasgos esenciales de un microcomputador (Sáez Vacas, 1987)

3.2. Características significativas de los microprocesadores

Finalmente, hemos seleccionado unas dimensiones - tecnología, espacio de direccionamiento, longitud de palabra, etc. - cuya trascendencia en el asunto que analizamos equivale a decir que la evolución tecnológica y arquitectónica de los microprocesadores marca de manera sorprendente la evolución de los microcomputadores. Los propios fabricantes han llegado a resaltarlo en los anuncios de sus máquinas, como atestigua el siguiente, recogido en el TIME: "inside the Macintosh II resides a new microprocessor of enormous power and possibilities: the Motorola 68020".

Muy esquemáticamente, anotamos a continuación algunas observaciones sobre estas dimensiones (o las dimensiones del cuadro 6, por extensión).

3.2.1. Tecnología de la lógica

Todas las dimensiones del espacio, excepto la longitud de la palabra y el número de direcciones por instrucción, dependen de la tecnología de los circuitos lógicos.

Algunas, como la capacidad y velocidad de las memorias, son directamente dependientes. Otras, como la estructura PMS y el paralelismo, sólo admiten valores complejos operativamente eficaces cuando la tecnología ha progresado suficientemente.

La tecnología tiene un efecto directo sobre la velocidad de operación del procesador y también un efecto secundario: el aumento de fiabilidad y la reducción del tamaño de los

circuitos permiten la construcción de computadores más potentes, con menores retardos de transmisión y con mayor densidad de interconexión.

En el tiempo se han ido desarrollando circuitos cada vez a mayor escala de integración, desde la SSI (Small Scale Integration) hasta VLSI (Very Large Scale Integration).

La microcomputadora es una computadora más. Posee una arquitectura clásica, basada en flujo de control de operaciones y lenguaje de procedimientos. Lo singular es que su estructura, por una triple razón, gravita sobre su tecnología. La primera es que, por ser un computador, su dimensión más influyente genéricamente es la tecnología incorporada. La segunda, que su componente principal, el microprocesador, es un circuito integrado, pura tecnología. Y la tercera, de carácter exclusivamente físico, que el tamaño de los circuitos ha posibilitado el empaquetamiento de un computador en una caja de reducidas dimensiones, a menudo portátil.

3.2.2. Espacio de direcciones; longitud de palabra; ISP

El espacio virtual de direcciones representa la capacidad del computador en términos de potencial de resolución de gamas de problemas. La relación del procesador con la memoria se establece, entre otros parámetros, por la magnitud del espacio de almacenamiento que el procesador es capaz de generar (o controlar). A eso se le llama espacio de direcciones virtuales, siendo el resultado del proceso de generación un conjunto de bits (la dirección virtual), don el que el procesador se dirige al subsistema de memoria para localizar las operaciones de lectura o escritura.

La longitud o tamaño de la palabra es un parámetro fundamental de la estructura de la información que maneja el computador. Es la unidad básica operativa de información en el computador y se mide por el número de sus bits. En principio, en ese número de bits se alberga una instrucción o un dato. Por consiguiente, a mayor longitud es mayor la variedad posible de instrucciones de máquina o ISP (teóricamente, un repertorio más amplio significa mayor versatilidad y potencia lógica, al crecer el número de operadores) y de tipos de datos (eventualmente, también es mayor la precisión, que se mide directamente por el número de bits). Como corolario, es mayor el número de circuitos necesarios y más compleja su organización, aunque dicho sea como inciso, se han estudiado soluciones para no aumentar de una forma funcionalmente innecesaria la complejidad de los circuitos (un ejemplo notorio son las arquitecturas RISC). Si miramos más de cerca este asunto, descubrimos que las longitudes de las instrucciones y de los datos, las longitudes de palabras almacenadas en la memoria principal, las longitudes de los registros del procesador o de la memoria y la anchura de los distintos buses coinciden unas veces con la longitud de la palabra y otras son múltiplos o submúltiplos de ésta. Lo cual quiere decir que, una vez fijada la longitud de la palabra, es en ese juego de relaciones de longitudes y de distribución de sus contenidos donde se plantean de manera muy sofisticada las diferencias operativas y funcionales entre computadores (en su caso, entre microprocesadores).

3.2.3. Estructura

En un posterior apartado sobre evolución de los microprocesadores se visualizará un esbozo de cómo crece la complejidad organizativa (o estructural) de estos microcircuitos, en la línea que acaba de comentarse como paralela al incremento del tamaño de la palabra. Ahora, para terminar el presente apartado dedicaremos unos párrafos a la estructura PMS de los computadores en general y de los microcomputadores o de los computadores personales.

En la terminología de Bell y Newell, las siglas P, M y S, que significan Procesador, Memoria e Intercomunicador o Conmutador (Switch), constituyen las primeras iniciales de un conjunto que comprende también las de otros componentes básicos de un computador visto a su más alto nivel de agregación: enlace, controlador, operador de datos y transductor (Bell, 1971).

Estos componentes, cada uno con su estructura y su función, combinados e interconectados, forman un sistema que es el computador. De todo lo cual se desprende la enorme variedad de diferentes computadores que la combinatoria de aquellos componentes hace posible.

Con el tiempo, la tecnología ha ido aumentando la riqueza estructural, la potencia y, por tanto, la funcionalidad de todos y cada uno de los componentes mencionados. Como consecuencia, ha aumentado la riqueza estructural del conjunto, dando lugar a organizaciones complejas de componentes jerarquizados o distribuidos, en los que tienen asiento la multiplicidad simultánea de procesos y el paralelismo físico. Esto quiere decir que las técnicas organizativas, a su vez, permiten obtener mayor partido de las posibilidades tecnológicas. Dado que otra conferencia de este curso versa de forma muy concreta sobre los aspectos organizativos (estructura y arquitectura), me limitaré a señalar que un resultado global de todos estos progresos ha sido la proliferación de parejas de procesadores y memoria, o en su defecto, de controladores y memoria (es decir, de "inteligencia") distribuidas por la estructura de los computadores.

Por su parte, los microcomputadores, como otros computadores, pueden, a igualdad de tecnología y de longitud de palabra, diferenciarse mucho por su estructura PMS. Hay un aspecto estructural general en el que, no obstante, prácticamente todos coinciden: la intercomunicación de los distintos componentes del sistema se realiza por medio de buses de diferentes anchuras para instrucciones, datos, direcciones u órdenes. Más o menos normalizados, ésa es otra cuestión, pero, al fin, buses.

Como resumen de la evolución de varias de las dimensiones analizadas para los microprocesadores e imagen anticipada de su impacto sobre las microcomputadoras, véase el cuadro 8, compuesto con datos procedentes de diversas fuentes bibliográficas.

El primer microprocesador contenía 2300 transistores; en este plazo, el número de dispositivos por pastilla se ha multiplicado por 200 y la frecuencia del reloj interno, por 50. (Gupta, 1983).

Longitudes de palabra y fecha aproximada de primer lanzamiento: 4 (1971), 8 (1972), 16 (1978), 32 bits (1981).

Algunos ejemplos:

I8008: n° transistores, 2000; palabra, 8 b.; año, 1972; memoria direccionable, 16 KBytes; n° instrucciones, 66.

I8086: n° transistores, 20000; frecuencia básica reloj, 5 MHz; palabra, 16 b.; año, 1978; memoria direccionable, 1 MB; n° instrucciones, 133.

HP32: n° transistores, 450000; frec. reloj, 18 MHz; palabra, 32 b.; año, 1982; memoria direccionable, real 2exp29 virtual 2exp41; n° instrucciones, 230.

(Gupta, 1983), (Toong, 1981), (Morse, 1980), (Valero, 1984)

Cuadro 8. Evolución de algunas de las principales dimensiones de estructura de los microprocesadores.

3.3. ¿Qué características funcionales del microcomputador dependen del microprocesador?

Una gran parte de las funciones posibles en el microcomputador dependen del microprocesador y también su potencia y su complejidad, aunque es justo resaltar que la tecnología y la estructura PMS del resto del sistema (es decir, de todo lo que no es microprocesador) juegan un papel en la especialización de la máquina. En buena medida, las funciones se derivan del software y precisamente todo el software descansa sobre el I.S.P. (véase cuadro 7), incluyendo de manera notable el software de base (sistema operativo, ensambladores, compiladores, etc. ...). Intentamos representar estas ideas por la figura 1, en la que el rótulo de "normalización" (o estandarización) nos señala que dos microcomputadoras (de entre los cientos de marcas diferentes en el mercado mundial) están obligadas a ser bastante parecidas si contienen el mismo microprocesador.

De hecho, estas ideas que acaban de exponerse explican que el mercado se haya organizado por segmentos, en cierta manera identificables por dos parámetros concretos: el microprocesador y el sistema operativo dominantes que, como se ha dicho, forman una pareja muy definida. El cuadro 9 ilustra, según Fertig, seis segmentos del mercado de microcom-

putadoras, de 8, 16 y 32 bits, con especificación de los nombres del sistema operativo, del microprocesador y del microordenador que ostentan los respectivos liderazgos (cuando los hay).

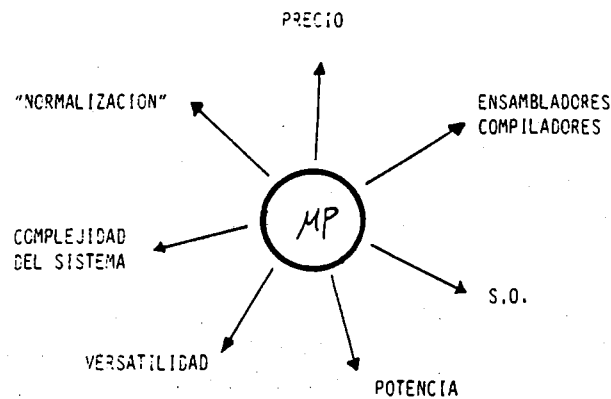


Figura 1. Impacto del microprocesador en algunos factores definitorios del microcomputador.

S.O. μP DOMINANTE O.P. LIDER	BASIC MOSTEC 6502 APPLE II	CP/M – 80 Z – 80 8 BITS
S.O. μP DOMINANTE O.P. LIDER	MS – DOS I8088/8086 IBM PC	UNIX/XENIX MC 68000: I80286 16 BITS IBM PC/AT
S.O. μP DOMINANTE O.P. LIDER	TIPO SMALLTALK MC68000 APPLE MAC	TIPO LISP 32 BITS

Cuadro 9. Segmentos de mercado, por microprocesador y sistema operativo (Fertig, 1985).

4. EVOLUCION DE LOS MICROPROCESADORES

4.1. Idea general

En un microprocesador están integrados todos los órganos funcionales de la UCP (unidad central de proceso del Computador), dejando las operaciones de entrada/salida y la función de almacenamiento masivo de datos para otros circuitos integrados. Los avances en el campo de la microelectrónica han permitido que hoy en día quepa en una parte de la palma de la mano el equivalente a las voluminosas UCPs de años atrás. Como ejemplo, para un empaquetamiento de 40 patillas (caso de 8080, Z80 ó 8086), las dimensiones son de 1,5 x 5 cm., y el dado interno en el caso del 8086 tiene una superficie de 31,2 mm². El 8008 tiene un encapsulado de 16 patillas con unas dimensiones de 0,8 x 1,8 cm., siendo el dado de 10,83 mm².

Con lo comentado, la estructura de un computador basado en un microprocesador quedaría establecida según se ve en la figura 2, que representa también la distribución física de las 40 patillas del Z-80, un muy conocido microprocesador de 8 bits.

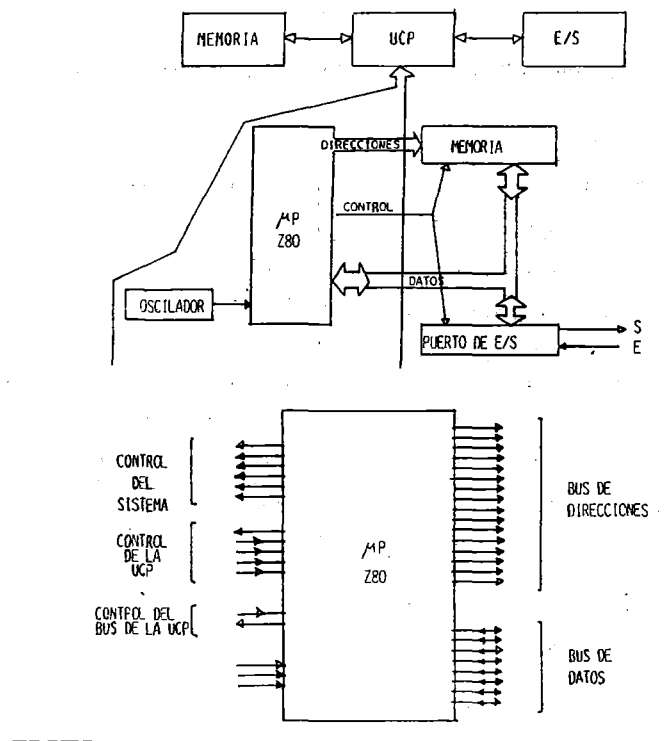


Figura 2. Estructura de un microcomputador y presentación física del microprocesador Z-80.

El primer microprocesador salió en noviembre de 1971 de los laboratorios de Intel. Se llamaba 4004, tenía una longitud de palabra de 4 bits y aún no era un microprocesador de propósito general, como tampoco llegó a serlo su sucesor, el 8008, y sí en cambio el 8080 de la misma casa fabricante. El 4004 surgió como respuesta integrada innovadora a un encargo de una empresa japonesa a Intel por un grupo de circuitos para una calculadora electrónica de bolsillo. La empresa Texas Instruments, por su parte, reclama el honor de haber sido la inventora del microprocesador.

Desde entonces han pasado poco más de quince años y varias generaciones de microprocesadores, hasta llegar a los actuales de 32/32 (32 bits para el bus interno, 32 bits para el bus externo). El progreso en prestaciones no tiene parangón en ningún otro dominio de la tecnología y hoy coexisten en la práctica microprocesadores de las primeras hornadas, cuyos irrisorios precios han dado origen a la expresión de "lógica gratuita", con potentísimas máquinas lógicas integradas en un solo "chip". A título de ejemplo, un 8080 costaba en 1975 360 dólares y a principios de 1980 existían versiones muy mejoradas de este mismo microprocesador por menos de 5.

	<u>Nº BITS</u>	<u>PRECIO (\$)</u>
MICROCONTROLADOR	8	2 A 20
MICROCOMPUTADOR	8/16	10 A 50
MICROMINI	16	20 A 150
MICROMAXI	16/32	500 A 1000
MICROMAINFRAME	32	400 A 3600

Cuadro 10. Clasificación de los microprocesadores por INTEL para la década de los 80 (Lilen, 1984).

En el cuadro 10 puede verse una clasificación de microprocesadores debida a la firma Intel, donde, como curiosidad es de subrayarse la terminología empleada. La figura de que se representa la distribución del mercado de microprocesadores hacia el año 1983.

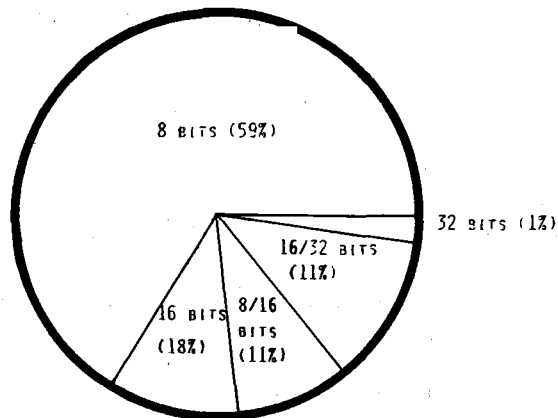


Figura 3. Distribución del mercado de microprocesadores hacia el año 1983 (Finkler, 1983).

4.2. Una selección de ejemplos

En el subapartado 3.2. hemos hecho una glosa de las características generales más significativas de los microprocesadores en lo concerniente a su aplicación como elemento esencial de las microcomputadoras. Ahora vamos a reforzar y completar lo allí tratado mediante una secuencia de esquemas y cuadros concretos, brevemente comentados.

En primer lugar, debe subrayarse que la tecnología predominante de los microprocesadores es la NMOS, compuesta por transistores unipolares de canal N (conducción a través de electrones) en semiconductores MOS (Metal-Oxido-Semiconductor). La tecnología CMOS está en alza en estos momentos.

Los microprocesadores se diseñan y organizan por familias. Esto quiere decir que al diseño de un microprocesador le acompañan los diseños de otros circuitos integrados para funciones de entrada/salida, control y gestión de memoria, control de dispositivos de pantalla, etc. ... Las casas fabricantes de cierta solera como Intel, Motorola, Zilog, National Semiconductor, crean sagas de procesadores con una misma genealogía. Por ejemplo, Intel ha lanzado al mercado la saga 8080, 8086, 80186, 80286, 80386.

A la figura 4, relativa a una familia de la casa National Semiconductor, podríamos añadir los dos ejemplos siguientes. Por un lado, la familia Motorola 68000, con sus MC68000 (16/32), MC68008 (8/32), MC68010 (16/32), MC68020 (32/32), en la que de un modelo a

otro cambia la estructura y la relación de longitudes del bus externo al bus interno, expresada por dos números separados por una barra.

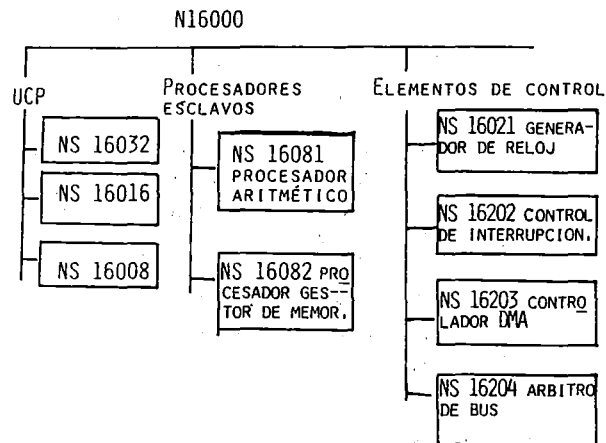


Figura 4. Familia de microprocesadores N16000 de National Semiconductor.

A efectos prácticos, las familias permiten construir una gama más completa de productos, desde pequeñas a grandes potencias o productos más sofisticados que integren en su estructura una variedad de elementos de una misma familia. Como le ocurre al Computador personal IBM PC/AT, que contiene o puede contener los siguientes elementos de una misma familia de circuitos integrados: procesador central (180286); coprocesador matemático opcional (180287); controlador de teclado (18042); dos controladores DMA (18237A-5); un adaptador para disco/disquete y micros para comunicaciones (180188, 182586).

El cuadro 11 nos da una idea de varias características de diversos microprocesadores, tales como el número de transistores, la densidad (en n° transistores por milésima cuadrada de pulgada) y la frecuencia en megaherzios del reloj (indicio, aunque no exclusivo, de la velocidad del circuito).

Aprovechamos para señalar que el número de bits es un parámetro que, debido a abusivas prácticas comerciales, se presta a confusión, puesto que no siempre se expresa sin ambigüedad si el valor de tal parámetro corresponde al bus interno (que estaría relacionado con la longitud de palabra vista en el subapartado 3.2.2.) o al bus externo, que demuestra las posibilidades del microprocesador en su integración con el resto del sistema (incluyendo las comunicaciones exteriores) microcomputador. Lo correcto sería explicitar la relación de longitud de bus externo e interno, como se señaló hace unos momentos.

μP	Bits	Año	Tecnolog.	Transist.	Densidad (Mil ² /Trans)	Reloj (MHz)
I8008	8	1972	PMOS	2.000	8,4	0,5-0,8
I8080	8	1974	NMOS	4.500	7,5	2-3
I8086	16	1978	NMOS	29.000	1,66	4-8
Z8000	16	1979	NMOS	17.500	3,48	2,5-3,9
M68000	16	1980	NMOS	68.000	1,03	5-8
NS16032	16	1982	NMOS	60.000	1,40	10
IAPX432	32	1981	HMOS	219.000	1,36	8
B32A(AT&T)	32	1982	CMOS	146.000	1,09	10
FOCUS (HP)	32	1982	NMOS	450.000	0,10	18
* HMOS: NOMBRE QUE DA INTEL A NMOS. DE ALTAS PRESTACIONES						

Cuadro 11. Características de algunos microprocesadores de tres generaciones distintas.

* 8 BITS: I8080; Z-80
* 16 BITS: I8086 (8/16); Z8000 (16/16); MC68000 (16/32); NS16032 (16/32)
* 32 BITS: MC68020 (32/32); NS32032 (32/32); I80386 (32/32)
BELLMAC 32A (32/32); FOCUS (32/32); IAPX432 (32/32)
— BELLMAC 32A: Soporte para lenguaje C, estructura entubada
— FOCUS (H-P): Estructura entubada; instrucciones orientadas al manejo de pilas
— IAPX 432: 3 C.I.; soporte para lenguaje ADA; línea radicalmente nueva en INTEL.
NOTA: Generalmente siempre que crece el ancho de la estructura interna (en n° de bits), aumenta el número de instrucciones, el número de modos de direccionamiento y el número de tipos de datos.

Cuadro 12. Relación de varios microprocesadores ordenada según el número de bits.

Por esta razón, la relación del cuadro 12, ordenada crecientemente por el número de bits de varios microprocesadores, adolece de un cierto grado de ambigüedad.

Ahora bien, pasando por encima de esta ambigüedad, que oculta estrategias de fndole comercial fácilmente desenmascarables, es lo cierto que la longitud del bus interno no es argumento suficiente para poner de manifiesto las diferencias funcionales existentes entre distintos microprocesadores. El cuadro 13 lo muestra fehacientemente, puesto que se refiere a tres microprocesadores de un mismo número de bits (8), cuyas diferencias arquitectónicas y físicas los distinguen claramente en cuanto a sus usos potenciales. El I8008 (Intel) y el Z80 es un microprocesador de Zilog que sobrepasó al I8080.

	8008	8080	Z80
FREC. RELOJ (MHz)	0,5-0,8	2-3	2,5-4
Nº INSTRUCC.	66	111	150
Nº BANDERAS	4	5	6
MEMORIA (BYTES)	16K	64K	64K
PUERTOS E/S	8E	256 E	256 E
	24 S	256 S	256 S
PATILLAS	16	40	40
BUS DE DATOS	8 *	8	8
BUS DIREC.	8 *	16	16
TIPOS DE DATOS	8BIT S/SIG	8BIT S/SIG 16BIT S/SIG EMP. BCD	8BIT S/SIG 16BIT S/SIG EMP. BCD
MODOS DE DIRECCIONAMIENTO	REGISTRO INMEDIATO	REGISTRO INMEDIATO DIRECTO (LIM.) IND. (LIMP.)	REGISTRO, INMEDIATO DIRECTO, INDIRECTO INDEXADO REL. A PROGRAMA PAGINA 0 (RESTART)
* MULTIPLEXADOS; EMP.: EMPAQUETADO; IND.: INDIRECTO			

Cuadro 13. Tres microprocesadores de 8 bits.

Como se dijo en el subapartado 3.1., para comparar con un mínimo de rigor dos microprocesadores habría que analizar todos los valores relacionados con su tecnología, espacio de direccionamiento, palabra, estructura y arquitectura (véase cuadro 7), lo que desborda los límites de esta conferencia y de este texto, y en realidad constituye un trabajo muy especializado. En su lugar, vamos a recoger simplemente en unas figuras (figuras 5, 6 y 7) una representación gráfica de las estructuras de tres microprocesadores, el primero ilustrativo de lo que pudiera ser un circuito de 8 bits; el segundo, de 16 bits (I8086) y el tercero, de 32 bits (I80386), de la misma familia que el 8086.

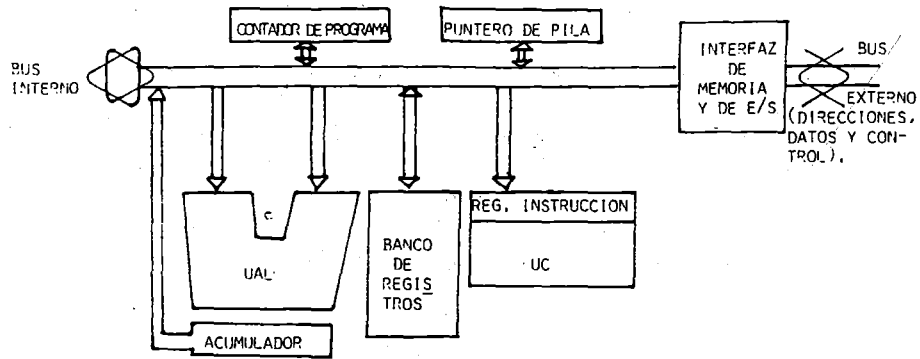


Figura 5. Esquema de estructura de un microprocesador de 8 bits (adaptado de Wakerly, 1981)

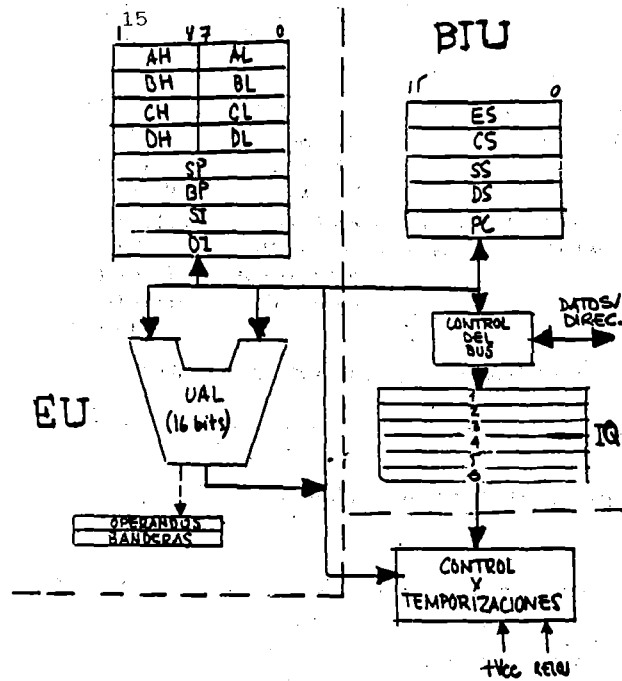


Figura 6. Estructura del I8086

Hay que señalar que a medida que los microprocesadores se hacen más complejos, su representación esquemática se hace más difícil y se utilizan diagramas de bloques de carácter más general (cada uno de ellos desglosable en una jerarquía telescópica de esquemas más precisos).

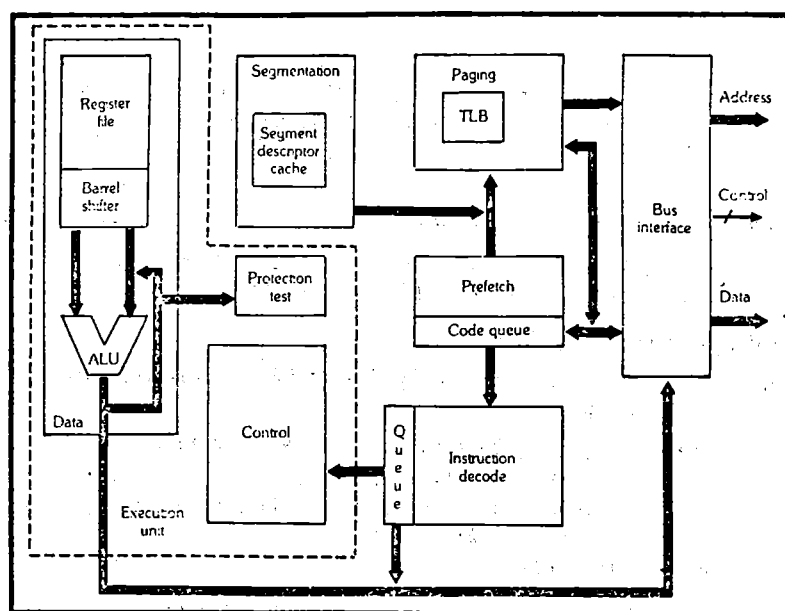


Figura 7. Diagrama de bloques del 80386.

Las estructuras del 8086 y del 80386 son ya más asunto de especialistas en arquitectura de ordenadores que de especialistas en microelectrónica. Con el cuadro 14, pretendemos completar y aclarar los rótulos de la figura 7. El 80386 es ya una máquina enormemente sofisticada, con estructuras anticipativas de tratamiento de instrucciones y datos, subsistema multimodal de gestión de memoria virtual paginada y segmentada, protecciones por hardware, facilidades para implementar potente software de base (sistema operativo multitarea) y de aplicación (a través de ayudas para la depuración y prueba de programas), multiplicidad de niveles y categorías de interrupción, etc. La ficha del 80386 se resume en los siguientes datos:

año: 1985
 tecnología: CHMOS III
 longitudes buses 32/32
 n° de patillas: 132
 reloj: 16 MHz, versión más rápida
 potencia: 3—4 MIPS (millones de instrucciones por segundo)
 memoria: 64 terabytes (virtuales)
 n° instrucciones básicas: 129
 modos de direccionamiento: 11
 incorporados al chip: gestión de memoria virtual; facilidades para depuración; test de protección; entubamiento ("pipe-lining")

<ul style="list-style-type: none"> • MUY ADECUADO PARA APLICACIONES DE ESTACIONES DE TRABAJO DE INGENIERIA, SISTEMAS DE OFICINA, ROBÓTICA Y CONTROL. • 2 MODOS DE FUNCIONAMIENTO <ul style="list-style-type: none"> Modo REAL: CARACTERÍSTICAS DEL I8086 E I80286 Y COMPATIBILIDAD EN CÓDIGO OBJETO Modo PROTEGIDO: CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DEL 80386: <ul style="list-style-type: none"> SISTEMA DE GESTIÓN DE MEMORIA INSTRUCCIONES PARA IMPLEMENTACION S.O. MULTITAREA HARDWARE PROTECCIÓN • CATEGORIAS DE REGISTROS: <ul style="list-style-type: none"> . DE PROPÓSITO GENERAL Y DE SEGMENTOS. 18 BANDERAS . DE CONTROL Y DIRECCIONES DEL SISTEMA (BÁSICOS PARA EL S.O.) . DE DEPURACIÓN Y PRUEBA • MEMORIA <ul style="list-style-type: none"> . SEGMENTADA Y PAGINADA <ul style="list-style-type: none"> . 1 SEGMENTO \leq 4 GB . 1 PÁGINA = 4 KB . TOTAL DE ESPACIO VIRTUAL PARA CADA TAREA DEL S.O.: 64 TB = 16.383 SEGMENTOS
--

Cuadro 14. Algunas características funcionales del microprocesador de 32/32 bits INTEL 80386.

4.3. Microuniverso en expansión

No es fácil dar una impresión objetiva al mismo tiempo detallada y global de la evolución fantástica de los microprocesadores. Sugarman lo ha expresado a través de una analogía con el universo físico que se expande, al parecer sin remedio y a gran velocidad, a partir de la explosión de un núcleo inicial. En efecto, el universo de los micros (el microuniverso) se expande de forma casi explosiva a partir de aquel primer 4004 de 1971 (Sugarman, 1979). Con tres últimas figuras para este apartado quisiéramos sintetizar un atisbo de en qué se cifra esta expansión.

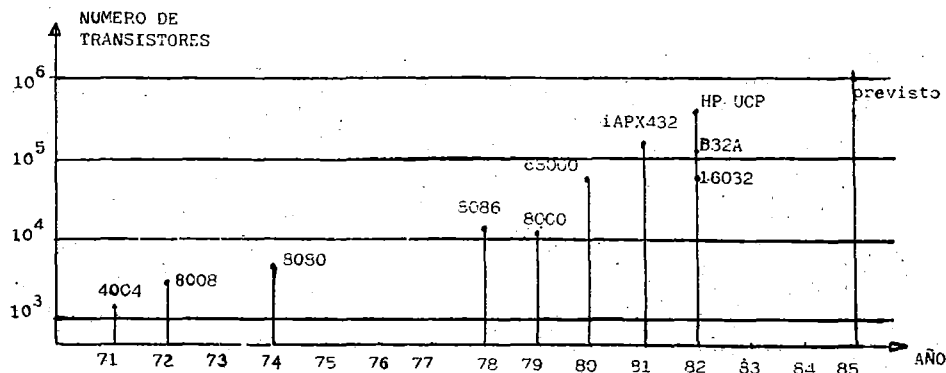


Figura 8. Evolución en el número de transistores integrados en algunos microprocesadores.

Con el cuadro 15 se consigue una referencia comparativa de cuatro microprocesadores de altas prestaciones interesante de cotejar en varios aspectos con micros inferiores aquí tratados, como el Intel 8080 o el 8086. El iAPX432 se materializa en tres circuitos. Recomendamos al lector detenga su atención un momento en reflexionar sobre las 132 patillas del 80386, aspecto que representa un progreso espectacular en las técnicas de encapsulado. El 80386 es actualmente el microprocesador que con más rapidez se propaga entre los microcomputadores y ordenadores personales de lo alto de la gama (en este segmento se incluyen varios de los modelos de la serie recientemente anunciada por IBM, el Personal System/2, que en el momento de escribir este texto no están aún a la venta).

	BELLMAC	FOCUS	iAPX432*	I80386
año de introducción comercial	1982	1986	1981	1985
tecnología	CMOS dominó	NMOS	HMOS	CHMOS III
patillas	63 activas 84 total	83	64x3	132
reloj (MHz)	10	18	8	16
memoria máxima direccionable (bytes)	2^{32}	2^{41}	2^{40}	2^{46}
número de instrucciones	169	230	221	129
modos de direccionamiento	18	10	5	11

Cuadro 15. Características generales de cuatro microprocesadores de altas prestaciones (Bellmac, de AT&T; FOCUS, de Hewlett-Packard; iAPX432 e I80386, de Intel).

Y para terminar, la figura 9, extraída de un artículo de Sugarman, refleja el microuniverso en expansión de las tres generaciones de microprocesadores, que muestra y resume a grandes rasgos su evolución en los poco más de diez años de este campo. La principal conclusión que se obtiene de ella es que una vez implementada una característica en un microprocesador, los siguientes productos, aún siendo de distintos fabricantes, continúan incluyéndola con un grado mayor de sofisticación. Esta conclusión es de carácter general y hay puntos donde falla, como por ejemplo al estudiar la evolución de la integración de la aritmética de coma flotante y encontrarnos con el caso del Bellmac 32A.

En el aspecto tecnológico cabe destacar que aparece por primera vez la tecnología CMOS con el Bellmac 32A: de igual forma que ocurrió con la utilización de la microprogramación en la unidad de control, técnica que se usó por primera vez en el I8086, es muy probable que el Bellmac 32A marque el comienzo de la utilización masiva de dicha técnica.

De forma muy sintética, se observa que los progresos tecnológicos se traducen en mejoras netas de performance: aumento de la frecuencia de reloj y potenciación del proceso, y en aumento de la complejidad de los circuitos, medida en número de componentes por circuito integrado.

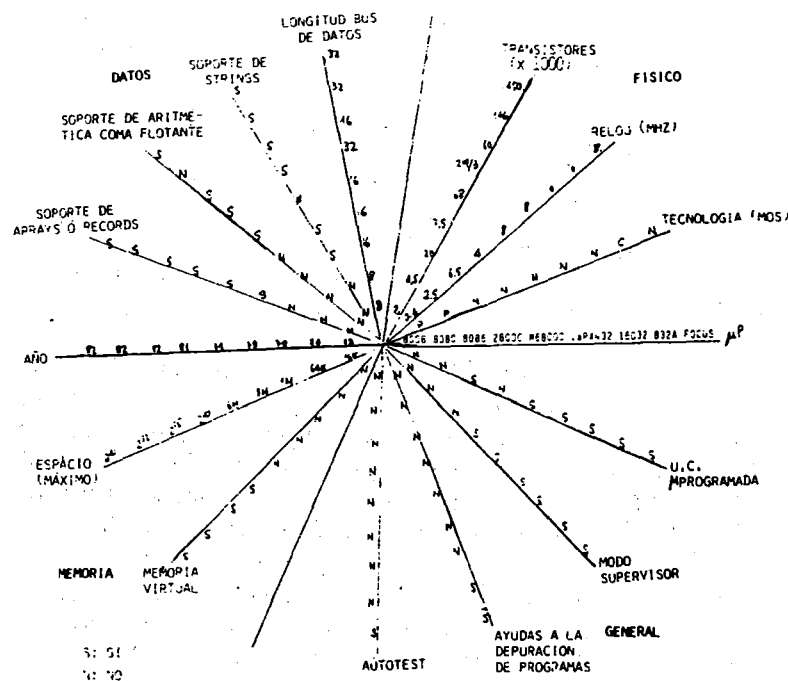


Figura 9. Universo de los microprocesadores en expansión (Sugarman, 1979, adaptado).

Esta última propiedad se traduce en un enriquecimiento de la estructura general del microprocesador. De una parte crecen el espacio direccionable de memoria, el repertorio de instrucciones, los modos de direccionamiento y el conjunto de datos manejables. De otra, la adición de registros y otras unidades funcionales permite incrementar el número de mecanismos destinados a colas, llamadas a rutinas, segmentación de memoria, manejo de interrupciones, pilas, protección, estados, "cache", memoria virtual, paralelismo, etc. Las consecuencias generales son un engrandecimiento directo de la potencia del microprocesador, una tendencia cada vez mayor a soportar lenguajes de alto nivel y sistemas operativos crecientemente complejos orientados a la concurrencia de múltiples tareas y múltiples usuarios.

5. EVOLUCION Y TENDENCIAS DE LOS MICROCOMPUTADORES

Una de las causas de la rapidísima evolución de los microcomputadores se debe a que su menor complejidad comparativa respecto de minicomputadores y ordenadores grandes los hace tecnológicamente más avanzados que estas dos clases de computadores. La razón es que su diseño y construcción responden a un ciclo más corto, gracias al cual son capaces de integrar las nuevas tecnologías físicas con un avance estimado de entre media y una generación por referencia a los minicomputadores y de entre una y dos relativamente a los ordenadores grandes.

Un ejemplo ilustrativo es el caso de los llamados supermicroordenadores, que han invadido totalmente el terreno anteriormente ocupado por muchos minis. A su vez, los mini-computadores se desplazan, aunque más lentamente, hacia mayores potencias. Algunos datos sobre los supermicros nos permitirán reforzar determinados argumentos empleados en el apartado dedicado a los microprocesadores.

La más notable característica de estas máquinas es el empleo de microprocesadores más potentes, con soporte para memoria virtual, registros cache para las instrucciones más frecuentes y arquitectura de localización, de codificación y ejecución entubada de instrucciones. Microprocesadores con un incremento colosal del espacio virtual de direcciones: Intel 80286, 1 Gigapalabra; NS 32032 y MC 68020, 4 Gigapalabras; Intel 80386, 64 Terapalabras. (Nota: Giga equivale a 2^{30} ; Tera, a 2^{40}).

Además, los supermicros se benefician del conjunto de los progresos de la tecnología electrónica en materia de memorias (capacidad de una pastilla R.A.M.: 1978, 16 Kb; 1982, 64 Kb; 1984, 256 Kb; ¿1990?, 1 Mb), de buses y controladores, distribuyéndose con ello más "inteligencia" y potencia por toda la estructura del sistema; teclado, pantalla, discos y toda clase de periféricos. También se sirven de los progresos algo menos espectaculares y sobre todo menos publicitados de los propios periféricos y de las memorias de masa. Por encima de los Winchester de 10 y 20 MB, se trabaja ya en Winchester de 5,25 pulgadas de unos 100 MB. Las unidades de discos flexibles se sitúan en laboratorio sobre los 3 MB y con tecnología Bernoulli parece que se ha llegado a los 5 MB de datos formateados, con un tamaño de 5,25 pulgadas en ambos casos (Ohr, 1984).

Una clase importante de supermicros son los que se orientan en su aplicación a estaciones personales de trabajo para ingeniería (C.A.D.: Computer Assisted Design; C.A.E.: Computer Assisted Engineering; C.G.I.: Computer Generation of Images, etc.). Son supermicros de 32 bits, de precio inferior a \$ 40000, en torno a un promedio de \$ 25000, como los Olivetti 3B2/400, Xerox 1108-III, HP 300-320, Digital MicroVax II, IBM RT PC, Mod. comp Classic II-15 y varios otros.

Otro tipo de microcomputadores persigue funcionar de forma prácticamente idéntica a un computador anterior mucho mayor. El computador de Data General Desktop 10 dice

llevar en su interior, además de un I8086, un microprocesador Microeclipse de 16 bits, que instrumenta el juego de instrucciones del sistema Eclipse, de la misma firma constructora. El computador personal 350 de Digital Equipment (alrededor de \$5.000) practica la misma técnica, en su caso con un micro F-11, cuya misión es ejecutar todo el software escrito para el PDP-11 (que costaba alrededor de \$50.000). Un ejemplo final es el XT/370, de IBM, cuya característica más notoria es la de instrumentar, con la inestimable ayuda de tres buenos microprocesadores, la archiconocida arquitectura 370 de los grandes ordenadores de la década de los setenta.

Existen otras muchas posibilidades. Acabamos de ilustrar el proceso evolutivo de los microcomputadores con una variedad de ejemplos más bien ilustrativos de lo alto de la gama, opción que siempre resulta más llamativa.

Generalizando ahora, es importante señalar en conclusión que la gama de microcomputadoras (por lo habitual, máquinas de sobremesa) se extiende ocupando tendencialmente el espacio más amplio de todas las clases de computadoras, como expresamos en la figura 10, adaptada de (Toong y Gupta, 1984). Con tecnología de microprocesadores MOS, las microcomputadoras absorben categorías hoy reconocibles (y algunas en trance de desaparición como los procesadores de texto): computadoras personales, procesadores de texto y estaciones de trabajo. La coexistencia en el mercado de una oferta de microprocesadores desde 8 bits a 32/32 a través de una enorme panoplia de precios, entre el polo de "lógica gratuita" y las últimas generaciones, en concordancia con el ciclo de vida de la industria de los microprocesadores, garantiza la vida y el progreso imparable de la gama de microcomputadores.

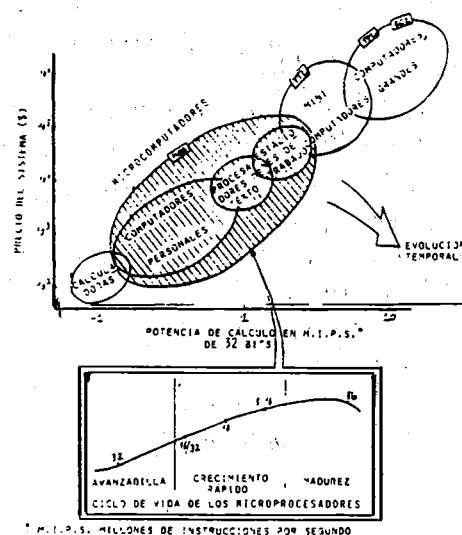


Figura 10. Evolución previsible de las categorías de computadores y factores técnicos condicionantes de la oferta para el resto de la década de los ochenta. Adaptado de (Toong y Gupta, (1984 p. 387 y Finkler (1983, p. 188).

BIBLIOGRAFIA

- (1) BELL, C.G. y A. NEWELL, *Computer Structures: readings and examples*, McGraw-Hill, N.Y., 1971.
- (2) FERTIG, R.T., *The Software Revolution: Trends, Players, Market Dynamics in Personal Computer Software*, North-Holland, N.Y., 1985.
- (3) FINKLER, G.A., Full 32-bit microprocessors: the next generation, *Mini-Micro Systems*, agosto 1983, pp. 187-194.
- (4) GUPTA, A., H-M.D. TOONG, Microprocessors - the first twelve years, *Proceedings of the IEEE* Vol. 71 N°11 nov. 1983, pp. 1236-1256.
- (5) GUPTA, A., H.D. TOONG, The first decade of Personal Computers, *Proceedings of the I.E.E.E.* Vol. 72 N°3 marzo 1984, pp. 246-258.
- (6) LILEN, H., Los microprocesadores de la década de los 80, en *Microprocesadores y Microcomputadores*, Marcombo Boixareu, Barcelona, 1984, pp. 55-58.
- (7) LUSSATO, B. et al., *La Micro-Informatique: introduction aux systèmes repartis*, Ed. d'Informatique, Paris, 1974.
- (8) METCALFE, R.M., Local networking of personal computers, *I.F.I.P. Congress 83*, Proceedings, Elsevier Science Publishers, 1983, pp. 525-532.
- (9) MORSE, S. et al., Intel Microprocessor - 8008 to 8086, *IEEE Computer*, octubre 1980, pp. 42-60.
- (10) OHR, S., 1984 Technology forecast. Personal Computers, *Electronic Design*, enero 1984, pp. 184-196.
- (11) PERRY, T.S., P. WALLICH, Inside the PARC: the information architects, *IEEE Spectrum*, Vol. 22, N°10, oct. 1985, pp. 62-75.
- (12) SAEZ VACAS, F. *Computadores personales: hacia un mundo de máquinas informáticas*, Fundesco, Madrid, 1987.
- (13) SIEWIOREK, D.P. et al., *Computer Structures: Principles and Examples*, McGraw-Hill, New York, 1982.
- (14) SUGARMAN, R. Computers: our 'microuniverse' expands. *IEEE Spectrum*, vol. 16, N°1 (1979), 32-37.
- (15) THACKER, C.P., Alto: A personal Computer, en D.P. Siewiorek et al., *Computer Structures: Principles and Examples*, McGraw-Hill, New York, 1982, pp. 549-572.
- (16) TOONG, H-M.D., A. GUPTA, An architectural Comparison of Contemporary 16-bit Microprocessors, *IEEE Micro*, mayo 1981, pp. 26-37.
- (17) TOONG, H-M., D. y A. GUPTA, A new direction in Personal Computer Software, *Proceedings of the I.E.E.E.* Vol. 72, N°3, marzo 1984, pp. 377-388.

- (18) VALERO, M., Arquitectura de los microprocesadores de 16 bits. Estudio del I-8086 Z-8000 y M-68000, en *Microprocesadores y Microcomputadores*, Marcombo Boixareu, Barcelona, 1984, pp. 59-74.
- (19) VAQUERO, A. y L. JOYANES, *Informática. Glosario de términos y siglas. Diccionario Inglés Español - Español Inglés*, McGraw-Hill, Madrid, 1985.
- (20) WAKERLY, J.F., *Microcomputer Architecture and Programming*, Wiley, N.Y., 1981.
- (21) WILSON, D., Microordenadores de alta potencia para aplicaciones exigentes. *ComputerWorld/España*, 14-5-1986, pp. 55-61.
- (22) WILLIS, J. y M. MILLER, *Computers for everybody*, dilithium Press, Oregon, 3ª edición, 1984.
- (23) WIRTH, N., LILITH: A Personal Computer for the Software Engineer, en M.J. Flynn et al., edit., *Microcomputer System Design*, Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag, Berlin, 1982, pp. 349-381.